Fábrica de Noobs

Desmistificando: hipótese da simulação

Natanael Antonioli

Janeiro de 2026

1. SUMÁRIO

2. Com o que estamos lidando? 3

3. Um recado especial... 4

4. Como a hipótese surgiu e progrediu? 6

5. O que é o trilema de Bostrom? 8

6. Qual a solução para o trilema de Bostrom? 9

7. O espaço e o tempo são discretos? 12

8. A matéria e as forças são discretas? 15

9. O universo mantém a matéria "não calculada" até ser observada? 18

10. O entrelaçamento quântico permite modificação instantânea de informações? 22

11. A velocidade da luz é o *clock* do processador de nossa simulação? 25

12. Objetos distantes nunca serão alcançados porque são um fundo não-explorável? 27

13. A quantidade de informação associada a eventos do universo é minimizada? 29

14. O número **137** é uma assinatura de nossa simulação? 35

15. A simetria é uma assinatura da nossa simulação? 38

16. Fractais são assinaturas da nossa simulação? 40

17. A tesselação é uma assinatura da nossa simulação? 44

18. Espirais são assinaturas da simulação? 46

19. A proporção áurea é uma assinatura da simulação? 47

2. COM O QUE ESTAMOS LIDANDO?

A hipótese da simulação propõe que a realidade que experimentamos é, na verdade, uma realidade simulada – popularmente, uma simulação de computador – em que seres humanos são meras construções.

A reprodução da história fica por conta dos inúmeros vídeos do canal Fatos Desconhecidos (https://www.youtube.com/results?search_query=fatos+desconhecidos+vivemos+em+uma+simula%C3%A7%C3%A3o).

Figura 1: vídeos sobre o assunto.

CIA
DESCOBRIU E SUMIU!
FATOS
21:20
O médico que provou que vivemos em uma simulação... e depois desapareceu!!
856 mil visualizações • há 6 meses
Fatos Desconhecidos
O cientista mexicano Jacobo Grinberg estava prestes a provar que vivemos dentro de uma matriz controlada pela consciência ...
4K
TUDO QUE PRECISA FAZER É OLHAR EM VOLTA...
20:50
Vivemos em uma simulação? - Cientistas tentam provar que vivemos em uma!
100 mil visualizações • há 1 ano
Fatos Desconhecidos
E se eu te contasse que sua vida é uma completa mentira? Não me refiro a seu emprego ou sua família. Não quero dizer que ...
4K
O APÓSTOLO JOÃO DISSE QUE TUDO É UMA SIMULAÇÃO!
20:09
Cientista paralisa o mundo ao afirmar que: "A BÍBLIA é a prova que VIVEMOS numa SIMULAÇÃO"!
265 mil visualizações • há 1 ano
Fatos Desconhecidos
No princípio era o Verbo, e o Verbo estava com Deus, e o Verbo era Deus. Ele estava no princípio com Deus. Todas as coisas ...
4K
18 capítulos Introdução | O que significa "no princípio"? | Vivemos numa simulação? | Código de computador ocult...

Esse vídeo abordará um conjunto de tópicos sobre a hipótese da simulação, mas alguns deles **serão abordados aqui de maneira superficial e orientada para as conclusões relevantes**, podendo ser, futuramente, **abordados de forma aprofundada em um vídeo dedicado**.

3. UM RECADO ESPECIAL...

Em muitas variações da hipótese da simulação, a realidade é controlada por uma inteligência artificial. No mundo real, uma aplicação muito relevante da inteligência artificial **é a inteligência artificial generativa**, que compõe um conjunto crescente de ferramentas capazes de, através de algoritmos probabilísticos, **produzir artefatos viáveis de texto, imagem, vídeo e código.**

Ainda que a inteligência artificial generativa **esteja sendo cada vez mais utilizada no dia-a-dia de empresas** – afinal, ela muitas vezes permite que tarefas sejam realizadas em tempo recorde – nem todo profissional possui domínio das ferramentas disponíveis e de suas capacidades.

Pensando nisso, o canal *Fábrica de Noobs*, em parceria com a *Hashtag Treinamentos*, oferecerá, **através de um link exclusivo e com 300 vagas reservadas para o nosso público**, um treinamento de 4 dias em inteligência artificial generativa para iniciantes, que será **100% gratuito** e não necessita de **nenhum pré-requisito**.

Nesse treinamento, alunos aprenderão a usar essas ferramentas para obter resultados **consistentes, confiáveis** e que **podem ser bem aplicados** para **tornar o trabalho mais fácil e eficiente**, por exemplo, organizando conceitos, preparando apresentações e resumindo materiais.

Ao passo que a internet e o cotidiano estão repletos de usos inapropriados da inteligência artificial generativa, a correta combinação de ferramentas **tem potencial de melhorar significativamente a relação entre qualidade e tempo de realização de um produto**, uma habilidade que se mostra cada vez mais importante no presente.

Inscritos do canal podem participar pelo link exclusivo (https://swiy.co/iafabricadenoobs) que se encontra também na descrição e no comentário fixado, ou pelo *QR Code* que se encontra abaixo.

Figura 2: *QR Code* para acesso ao treinamento.

A *Hashtag Treinamentos* possui mais de 120 mil alunos formados, com **índice de satisfação acima de 98%**, e múltiplos casos de sucesso documentados em que alunos, com a ajuda dos treinamentos fornecidos, **saíram do zero ao mercado de trabalho em pouco tempo**.

4. COMO A HIPÓTESE SURGIU E PROGREDIU?

Na era pré-tecnológica, certos pensamentos questionaram a natureza da realidade, **propondo que esta poderia ser um sonho ou uma alucinação**. Em textos védicos (cerca de 1000 a.C.), a Maiá **denota uma ilusão que constitui a natureza do universo**, bem como a força que **cria a ilusão de que o mundo observado é real**.

Um argumento popular dessa linha é o de Platão (375 a.C.), com a alegoria da caverna, que discorre sobre pessoas acorrentadas a uma caverna, olhando para uma parede de pedra, atrás das quais se situa uma fogueira que projeta sombras de objetos. No entanto, a intenção da alegoria **era discorrer sobre o uso da razão no entendimento do mundo**, e não exatamente questionar a realidade percebida.

Já uma das histórias do *Zhuangzi*, um texto escrito na China entre 476 e 221 a.C., chama-se *Sonho da Borboleta*, e questiona: teria um homem sonhado que era uma borboleta, **ou uma borboleta sonhado que era um homem**?

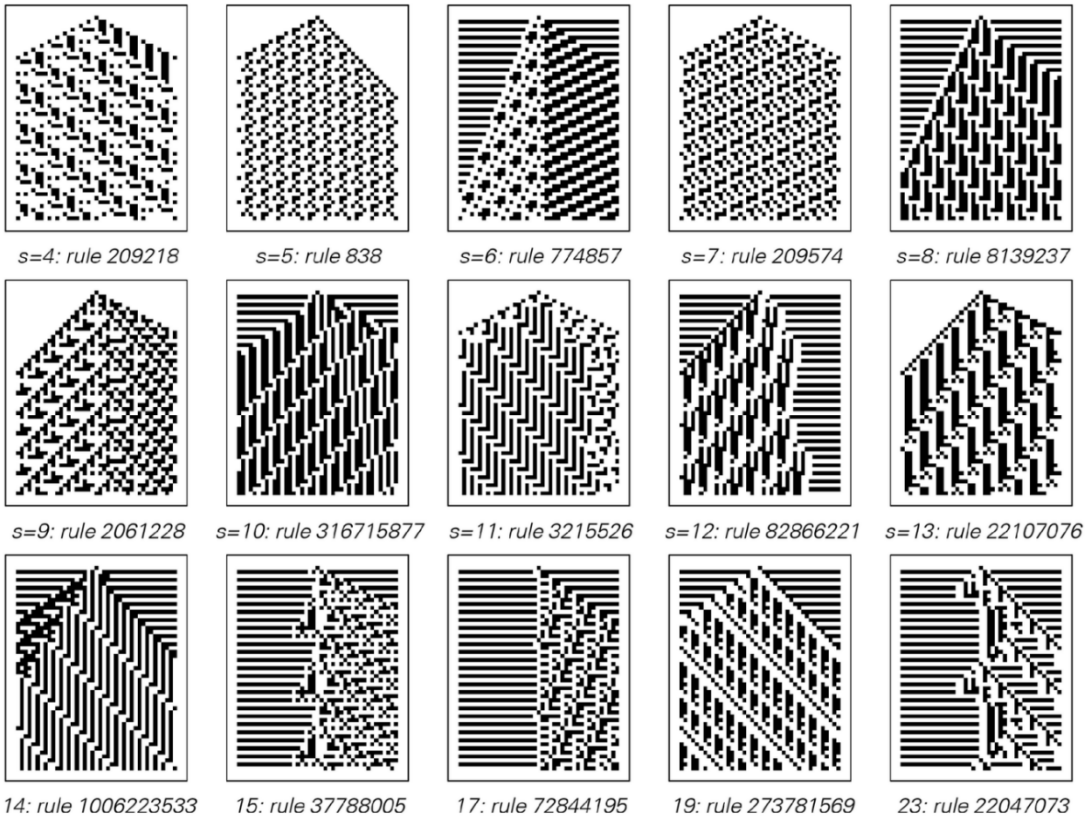
> "*Certa vez, Zhuang Zhou sonhou que era uma borboleta, uma borboleta que voava e esvoaçava, feliz consigo mesma e fazendo o que bem entendia. Ele não sabia que era Zhuang Zhou.*
>
> *De repente, acordou e lá estava ele, sólido e inconfundível Zhuang Zhou. Mas não sabia se era Zhuang Zhou que sonhara ser uma borboleta, ou uma borboleta que sonhara ser Zhuang Zhou. [...]"*

No século I, um conjunto de ideias religiosas e filosóficas definido como gnosticismo postulava que a realidade material **era uma criação do Demiurgo, uma entidade ou ignorante, ou maliciosa** a depender da escola de pensamento, em oposição a um ser supremo.

Em 1641, Descartes propôs o conceito de gênio maligno, que **seria capaz de controlar todas as sensações recebidas pelo cérebro** e, portanto, implicaria na possibilidade de que **todas as nossas impressões são falsas**.

Em 1967, Konrad Zuse sugeriu que **o universo poderia funcionar em um autômato celular**. Um autômato celular é uma estrutura proposta em teoria dos autômatos como um conjunto finito de células organizadas em qualquer estrutura tal qual cada célula possui vizinhos $v_0 \dots v_n$, assume um conjunto de estados finitos e avança em etapas discretas de tempo $t_0 \dots t_N$ usando a mesma regra, que **depende apenas de seus vizinhos**. Sabemos que autômatos celulares **desenvolvem estruturas complexas usando regras simples**.

Figura 3: exemplos de autômatos celulares.



Em meados de 1988, Hans Moravec propôs o conceito de **cérebro em uma jarra**, segundo o qual um indivíduo poderia ter o cérebro removido e **ligado a uma máquina que produz sinais idênticos aos produzidos por seus órgãos sensoriais**, exceto que esses sinais seriam gerados não por um sensor, **mas por uma simulação**.

5. O QUE É O TRILEMA DE BOSTROM?

Em 2003, Nick Bostrom **propôs um trilema** – uma escolha difícil entre três opções, já que todas as três parecem improváveis.

I. A fração de civilizações de nível humano que atinge um estágio pós-humano, isto é, capaz de rodar simulações ancestrais de alta fidelidade, é quase zero.

II. A fração de civilizações pós-humanas que está interessada em rodar simulações ancestrais, ou variações dela, é quase zero.

III. A fração de todas as pessoas com nosso tipo de experiências que está vivendo em uma simulação é quase um.

Em outras palavras, se (I) for verdade, então **quase todas as civilizações se extinguem antes de serem capaz de produzir simulações da realidade**; se (II) for verdade, então essas civilizações **escolhem não produzir simulações da realidade** por ética, leis, riscos, custos ou falta de interesse; e se (III) for verdade, então **nós quase certamente vivemos em uma simulação**.

O trilema simplesmente **não afirma qual das asserções é verdadeira**, mas, por ser um trilema, **é logicamente impossível rejeitar os três**, e **um precisa ser verdade**. Assim, o trilema **não prova que vivemos em uma simulação**, uma vez que as opções (I) e (II) nos livram dessa possibilidade.

Porém, o trilema demonstra que, **se em algum momento se provar fácil criar grandes números de seres simulados**, então nós, quase certamente, **somos seres simulados**. Uma consequência também se aplica de forma temporal: se nós não vivemos em uma simulação, **então nossos descendentes nunca construirão uma simulação**. Além disso, Bostrom argumenta que essa linha de raciocínio **vai além do ceticismo de hipóteses anteriores**, uma vez que se fundamenta em razões empíricas.

6. QUAL A SOLUÇÃO PARA O TRILEMA DE BOSTROM?

Um argumento falseável é aquele que pode ser provado falso através de um experimento conhecido e, em sua página pessoal (https://simulation-argument.com/faq/), Bostrom discorre sobre a falseabilidade desse argumento.

Segundo Bostrom, **existem eventos que claramente provariam que vivemos em uma simulação**, como um *pop-up* gigantesco no céu dizendo "você vive em uma simulação", ou uma pessoa sendo retirada dessa realidade.

Além disso, **é possível obter evidência indireta da hipótese da simulação** por meio de constatações que enfraqueçam as hipóteses (I) e (II), como uma eventual aproximação do nosso nível de tecnologia que permita a criação de simulações do tipo.

Analogamente, constatações que fortaleçam as hipóteses (I) e (II) **são evidência indireta da improbabilidade da hipótese da simulação**, como a descoberta de riscos e barreiras que levariam à nossa extinção antes de tal avanço tecnológico.

Entretanto, Bostrom afirma que, no momento e em curto prazo, **não há qualquer teste que permita falsear essa hipótese**.

Figura 4: trecho da página de Bostrom.

> One might wonder whether there is any kind of test that we could conduct in the near term that would definitely reveal which of the three disjuncts is true. I doubt that there is any simple experiment—like mixing some chemicals in a bottle and checking whether they turn red or blue—that would do that. Most theoretical science is of course untestable in *that* sense, so it is not a useful criterion for whether a theory is worth taking seriously.

No resto de sua página, o autor defende seu argumento perante alguns contra-argumentos. Um deles é uma possível solução externa ao trilema, em que simulações são possíveis, mas **nenhuma criatura simulada ainda existe, já que simulações ainda não foram inventadas em nenhum lugar do universo**.

Ele responde de forma probabilística: o número de pessoas com experiências como nós que ainda irá viver é muitas ordens de grandeza maior do que o número de pessoas que já

viveu então, por estatística, **devemos concluir que somos simulados**. Porém, um argumento contrário é que **pessoas simuladas não necessariamente têm experiências como as nossas**.

Uma crítica comum é que a hipótese da simulação **presume que leis físicas podem ser simuladas por um algoritmo de computador**, mas, ainda assim, **não existe algoritmo conhecido capaz de reproduzir, por exemplo, a teoria da relatividade** – apenas capazes de simular suas observações com certas precisões. Assim, se desejamos basear esse argumento de forma empírica (e não no mero ceticismo), **a premissa deveria ser a oposta da utilizada**.

Bostrom defende que o universo inteiro não é simulado, **mas sim pequenas partes**, suficientes para criar essa ilusão ao observador, e que certas partes podem ser simplesmente geradas sob demanda quando são analisadas. Além disso, o universo **pode ser gerado em tempo real conforme é explorado**.

Figura 5: trecho da página de Bostrom.

Instead, only enough needs to be included in the simulation to make it appear real to the observers inside. This allows many details to be omitted, such as objects that are very small or very far away. Many of the remaining details could be filled in only when somebody is looking at them or performing relevant experiments. Graphics engines typically render only that which is seen by some player character; and some modern computer games use procedural generation, which creates world details as needed depending on where the player goes, thus removing any limits to the size of the virtual world that can be explored.

Porém, se retornarmos ao empirismo, sabemos que **muitos fenômenos na física são não-locais**, e que **não é possível calcular partes do universo sem causar incongruências notáveis em outros lugares**.

Por fim, uma discussão constante, e que é tema de divergência até mesmo entre os que discordam da hipótese da simulação, consiste da dúvida sobre a natureza da consciência: **a consciência dependeria meramente de propriedades materiais, ou de algo mais?**

Isso encerra a discussão filosófica sobre o tema, mas ainda há uma questão importante: teríamos nós encontrado evidências que vivemos em uma simulação?

Parte dessas evidências são resultados experimentais obtidos nas últimas décadas, e serão discutidos nas próximas seções. Eles envolvem conceitos de física moderna e, ao passo

que uma discussão completa sobre esses conceitos não cabe aqui, eles serão **suficientemente explicados e apresentados na ordem mais adequada ao aprendizado**.

A outra parte constitui observações da vida cotidiana, mais comumente postadas em redes sociais como "falhas na *matrix*". O próprio Bostrom, em sua página, cita que esse tipo de relato **é provavelmente resultado de alucinações, condições psiquiátricas, ilusões, interpretações erradas, falhas de memória e fraude**, uma vez que uma simulação deveria ser capaz de evitar que criaturas dentro dela percebessem esse tipo de falha.

Figura 6: opinião de Bostrom.

5. "I can see glitches in the Matrix!"

I am very skeptical of such claims. We should expect occasionally to hear this kind of report even if we are not in a simulation. Even if we *are* in a simulation, the most plausible explanation for such reports is not that they result from any real "glitch" but rather that they originate in the ordinary frailties of the human mind—hallucinations, psychiatric problems, visual illusions, self-deception, misremembering, misinterpretation, fraud, and so forth.

It seems likely that the hypothetical simulators, who would evidently have to be technologically extremely advanced to create simulations with conscious humanlike participants, would also have the ability to prevent these simulated creatures from noticing anomalies in the simulation. This could be done by avoiding anomalies altogether, or preventing them from having noticeable macroscopic ramifications, or by retrospectively editing the brain states of observers who had happened to witness something suspicious. If the simulators don't want us to know that we are simulated, they could easily prevent us from finding out. Consider that even our own humble brains—unaided by technology—usually manage to prevent us from realizing when we are dreaming at night, even though the typical dream is teeming with the most fantastic anomalies.

7. O ESPAÇO E O TEMPO SÃO DISCRETOS?

Em nossas simulações de computador, usamos um número binário com tamanho fixo para representar posição. Isso está **diretamente relacionado com a resolução da nossa simulação**.

Por exemplo, se optamos por um número de 32 bits em complemento de 2, então somos capazes de armazenar valores entre:

$$-2^{31} = -2.147.483.648$$

$$2^{31} - 1 = 2.147.483.647$$

Em outras palavras, o total de números existentes para denotar posição é de:

$$2.147.483.647 - (-2.147.483.648) = 4.294.967.295$$

Isso significa que, dada a distância d entre dois extremos do mapa em um mesmo eixo, a menor unidade de medida terá $d/4.294.967.295$. Em um exemplo prático, se considerarmos um mapa de $8\,\text{km} \times 8\,\text{km}$, a menor unidade de medida será de $1{,}8$ micrômetros.

$$\frac{8.000}{4.294.967.295} \approx 0{,}0000018624 = 1{,}8\ \mu\text{m}$$

Logo, nessa simulação, toda distância sempre será um múltiplo de $1{,}8\ \mu\text{m}$, e nenhum objeto poderá ser posicionado em escala menor que $1{,}8\ \mu\text{m}$. Portanto, **dizemos que, nessa simulação, o espaço é discreto**.

Já para o tempo, sistemas de computador possuem um sinal de *clock* **na forma de milhões ou bilhões de ciclos por segundo**, e que é aproveitado por *softwares* de níveis superiores para simulações: por exemplo, o jogo *Minecraft* roda por padrão a 20 *ticks* por

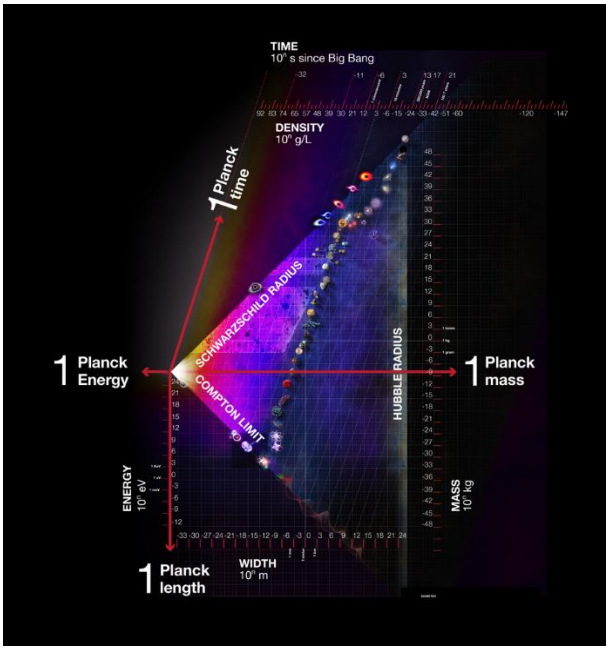
segundo, o que significa que a simulação **muda de estado apenas 20 vezes por segundo** e **não pode mudar de estado no período entre *ticks***.

Se o espaço e o tempo fossem discretos, nós **observaríamos efeitos dessa discretização em escalas extremamente pequenas,** mas, até o limite experimental atual (cerca de 10^{-18} m e 10^{-21} s), o espaço e o tempo **parecem contínuos**. Caso contrário, observaríamos:

- Fenômenos **com tendência de ocorrer em direções específicas**;
- Posição **mudando de forma abrupta ao invés de contínua no limite da escala**;
- **Falhas abruptas na teoria quântica** em escalas muito pequenas;
- **Quebra da invariância de Lorentz**, que prevê leis físicas idênticas em todos os referenciais;
- **Surgimento de um ruído** proveniente da incerteza da discretização;

Alguns afirmam que a escala de Planck conteria as menores unidades, ou seja, a discretização da distância (em 10^{-35} m) e do tempo (em 10^{-41} s). Porém, na realidade, a escala de Plank é um conjunto de unidades a partir das quais os modelos atuais de previsão deixam de funcionar, **pois a gravidade se comportaria de forma quântica**.

Figura 7: unidades da escala de Planck em representação artística.



Na escala de Planck, também definimos energia (10^{19} GeV), mas a escala **não traz um limite de discretização**, e sim um limite a partir do qual as teorias atuais deixam de funcionar pois **os efeitos quânticos da gravidade se tornam expressivos**.

O problema é que **nós não possuímos uma teoria funcional da gravidade quântica** e, portanto, apesar de **quase certamente haver física além da escala de Planck**, nós atualmente não somos capazes de descrevê-la de maneira qualitativa ou quantitativa. É, inclusive, possível que o espaço-tempo **adquira outra conotação abaixo da escala de Planck**, e que as características que observamos no dia-a-dia **sejam apenas emergentes acima dessa escala**.

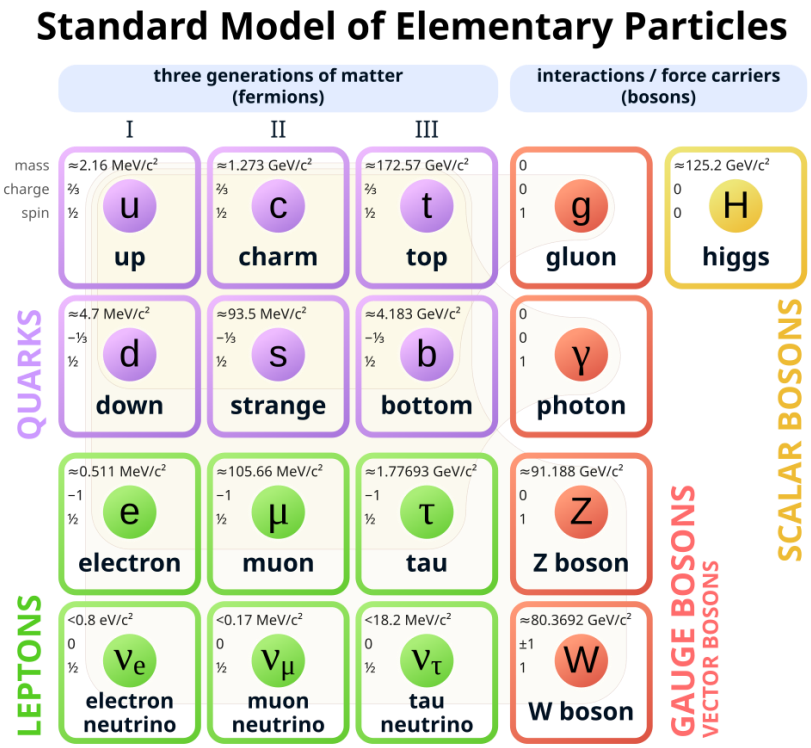
8. A MATÉRIA E AS FORÇAS SÃO DISCRETAS?

Muitas estruturas já foram imaginadas como sendo fundamentais como, por exemplo, a água. Depois, descobrimos que a água é composta de moléculas (H_2O), que por sua vez contém dois átomos de hidrogênio (H) e um de oxigênio (O).

Depois, descobrimos que átomos são constituídos de três blocos menores: um núcleo de prótons (com carga positiva) e nêutrons (com carga neutra), bem como uma região com elétrons (com carga negativa). Em seguida, descobrimos que prótons e nêutrons são compostos de partículas ainda menores.

Através de pesquisas nos séculos XX e XXI, desenvolvemos o modelo padrão, que **lista partículas elementares** e **explica quatro das três forças fundamentais**. A noção de partícula elementar, por si só, implica que **a matéria é discreta** e **composta de blocos fundamentais irredutíveis** – por mais que blocos atualmente entendidos como irredutíveis possam se provar redutíveis no futuro.

Figura 8: modelo padrão.



A matéria estável é composta de quarks e léptons. **Prótons e nêutrons são compostos dos quarks up e down**, ao passo que os quarks charm, strange, top e bottom **formam partículas menos estáveis**.

Prótons e nêutrons formam núcleos atômicos, e dentre os léptons, **elétrons se situam ao redor do núcleo para formar um átomo**. Todos os neutrinos são estáveis, mas **não formam partículas maiores** e viajam pelo universo, **interagindo muito fracamente de todas as formas**. Múons e taus, por sua vez, **são instáveis**.

As quatro forças fundamentais são o eletromagnetismo, a força fraca, a força forte e a gravidade, sendo que **a última não é explicada pelo modelo padrão**. Cada força está relacionada a um campo, e **campos são contínuos**.

Porém, os bósons (que **são excitações dos campos**) **são discretos**. O campo eletromagnético produz a atração e repulsão de partículas carregadas e, quando uma excitação viaja no espaço, ela produz ondas eletromagnéticas. A isso **damos o nome de fóton**.

A força forte age entre os quarks, **mantendo-os unidos para formar prótons e nêutrons** e, de forma residual, **mantendo prótons e neutros também unidos**. A excitação, aqui, **é chamada de glúon**.

A força fraca **é responsável pelo decaimento radiativo**, e suas excitações discretas são os bósons W^+, W^- e Z. Em altas energias, ela acaba unificada com o eletromagnetismo no campo eletrofraco.

Por fim, o campo de Higgs **não está relacionado com uma força**, mas **dá massa de repouso** para os bósons W^+, W^-e Z, para todos os quarks e léptons, bem como para o próprio bóson de Higgs. Fótons e glúons **não possuem massa**.

Além disso, certas partículas possuem antipartículas, que possui a mesma massa, spin e meia-vida, mas **possui carga elétrica, carga fraca e, para os quarks, cores opostas**. Uma partícula e sua antipartícula se aniquilam e **dão origem a excitações de campo**, ao passo que

fótons, bósons **Z** e o bóson de Higgs são sua própria antipartícula (glúons podem ou não ser, a depender da carga de cor). A antimatéria **é também discreta** e se encaixa no modelo padrão.

O problema ocorre com a gravidade, que **não é descrita no modelo padrão**. Ela é descrita pela relatividade **como a curvatura do espaço-tempo** causada por energia e momento, mas **a relatividade não é compatível com o modelo padrão**, pois esse exige a quantização da gravidade, algo que a relatividade proíbe.

Ainda nesse problema surge a matéria escura, que **tem massa e gravidade**, mas **não emite ou absorve luz, nem interage de forma eletromagnética**. Nós simplesmente **não conhecemos a natureza da matéria escura** e, por isso, **não podemos afirmar se ela é discreta ou contínua**.

9. O UNIVERSO MANTÉM A MATÉRIA "NÃO CALCULADA" ATÉ SER OBSERVADA?

Em jogos, uma forma de otimização comum é **simplesmente não renderizar** (ou seja, calcular a forma correta de exibir) **objetos fora do campo de visão do jogador** afinal, ele não os estará vendo de qualquer jeito.

Outra forma é **não realizar processamento matemático para objetos distantes**. Assim, se temos um monstro situado do outro lado do mapa, **não há necessidade de calcular sua posição** porque ela só se torna relevante para o jogador quando este se aproxima.

Isso **economiza consideravelmente em processamento**, e permite que uma simulação seja muito mais densa e imersiva em nível local enquanto todo o resto do mapa permanecerá parado até que o jogador mude de posição.

Muitos acreditam que essa técnica possui um paralelo na vida real e que a simulação da realidade a utiliza para economizar processamento, pois, segundo um entendimento popular, "partículas só adquirem um valor definido quando são observadas".

Figura 9: alegação do tipo.

1. The Lazy Loading (Superposition)

In video games, the computer doesn't render the world behind your back to save RAM. Science confirms subatomic particles do the same thing. They literally don't have a fixed location or color until you measure them. The universe leaves the details blank until a player actually looks.

Figura 10: alegação do tipo.

3. The Render Moment (Observer Effect)

In games, low-res blobs turn into high-def objects the moment you walk up to them. In physics, this is called the Wave Function Collapse. A fuzzy probability cloud snaps into a solid piece of matter only when a conscious person watches it. Basically, the graphics only render when a player is looking.

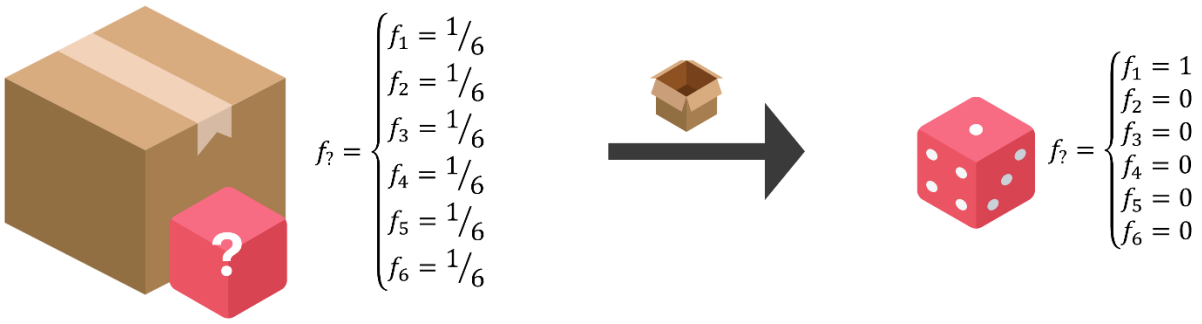
Esse fenômeno é real, **mas não funciona exatamente assim**. Primeiro o explicaremos com uma analogia macroscópica e, depois, mostraremos como ele corre de forma microscópica.

Quando um objeto não tem um estado definido, dizemos que certas grandezas **estão em estado de sobreposição**, o que significa que elas **são representadas por um vetor de probabilidades associadas a cada possibilidade**.

Por exemplo, se colocarmos um dado em uma caixa e a agitarmos, podemos dizer que a face para cima do dado **está em estado de sobreposição**, em que um vetor (que vai de 1 a 6) **possui probabilidades para cada possível resultado** (como o dado não é viciado, essa probabilidade é de $1/6$).

Quando abrimos a caixa, **colapsamos o vetor de probabilidades** do dado, fazendo com que todos os valores do vetor assumem probabilidade 0, exceto pelo valor da face para cima, que assume probabilidade 1.

Figura 11: colapso do vetor de probabilidades (e da função de onda) do dado.



Na mecânica quântica, temos um fenômeno parecido, com algumas diferenças sutis. Esse fenômeno **funciona para grandezas discretas** (por exemplo, spin, que pode ser para cima ou para baixo) ou **contínuas** (por exemplo, a posição em um eixo). No segundo caso, **o vetor de probabilidades é uma função**, e o colapso **resulta em um valor definido**.

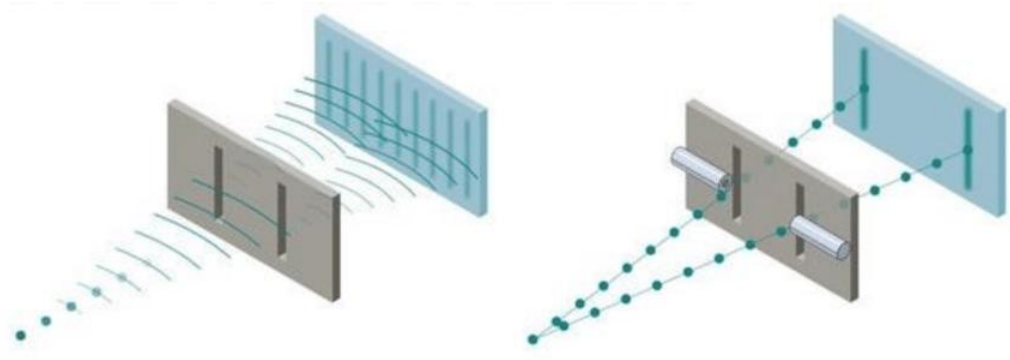
Figura 12: exemplo real (spin).

Figura 13: exemplo real (posição).

Isso parece confirmar a hipótese da simulação, mas há um problema: o comportamento de uma partícula em estado de sobreposição **depende da função de onda**, e **é computacionalmente mais caro de calcular do que em colapso**.

Um exemplo clássico se encontra no experimento da dupla fenda, em que fótons são disparados em duas montagens: uma com um detector em cada fenda, e outra sem. Na montagem em que há sobreposição, **o padrão de chegada dos fótons é ondulatório**, ao passo que, na montagem sem sobreposição, **o padrão se resume a uma linha para cada fenda**.

Figura 14: experimento da dupla-fenda.



Há, também, mais um problema: apesar do termo "observação" ser usado para denotar o que causa colapso da função de onda, **qualquer interação de uma partícula com matéria**

é suficiente para desencadeá-lo mesmo que **nenhuma pessoa ou ser vivo faça parte da interação**.

Assim, o que parece um argumento a favor da hipótese da simulação se torna um argumento contrário a ela: é como se a simulação **optasse por fazer mais cálculos nos objetos que não são relevantes**, e trocasse de contexto quando esses objetos entram em contato com qualquer outro objeto, **mesmo que ainda não sejam relevantes**.

10. O ENTRELAÇAMENTO QUÂNTICO PERMITE MODIFICAÇÃO INSTANTÂNEA DE INFORMAÇÕES?

Em uma linguagem de programação, uma mesma variável pode ser acessada em vários pontos do código através de referências ao local da memória em que a variável é armazenada. Da mesma forma, no sistema operacional, um arquivo pode ser acessado em vários locais através de um atalho.

Um usuário no Reddit propôs que o entrelaçamento quântico é o análogo desse mecanismo em nossa simulação, uma vez que, em duas partículas entrelaçadas, efeitos realizados em uma propagam para a outra instantaneamente.

Figura 15: trecho da alegação.

> 2. The Copy-Paste Glitch (Entanglement)
>
> If you have two entangled particles, and you measure one, the other instantly snaps into a matching state, even if it's across the universe. This violates Einstein's rule of Locality (that influence cannot travel faster than light), but it makes perfect sense in code. They aren't two objects. They are just two shortcuts pointing to the same file.

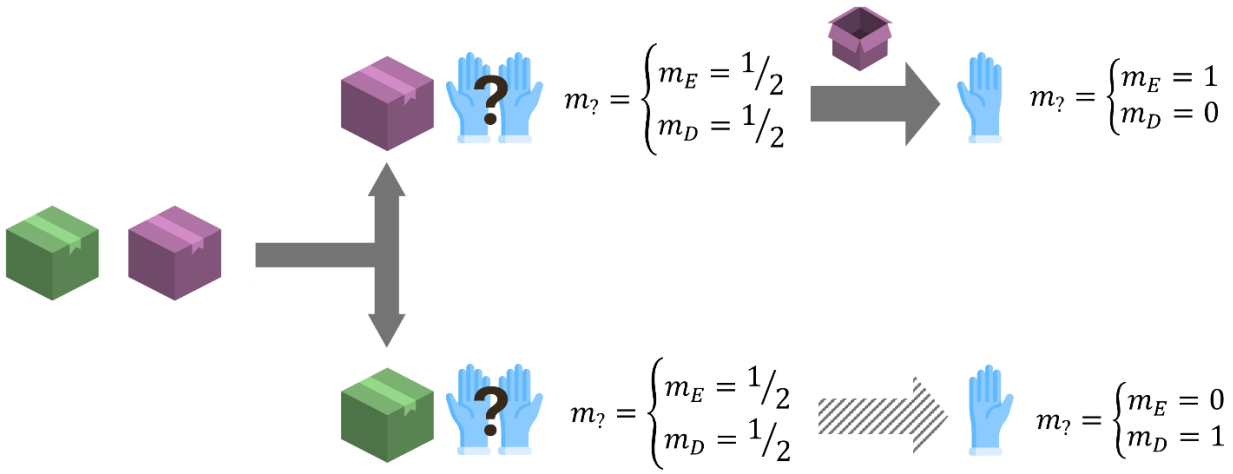
Para explicar o entrelaçamento quântico, usaremos, primeiro, um exemplo macroscópico. Considere que temos um par de luvas, com uma luva da mão esquerda e uma luva da mão direita, e colocamos cada uma dentro de uma caixa lacrada. As caixas são embaralhadas, pintadas de cores diferentes (por exemplo, verde e roxo) e enviadas para localizações distantes.

Antes de qualquer caixa ser aberta, **o vetor de probabilidades de ambas as luvas é o mesmo**: há $^1/_2$ de chance que a luva dentro da caixa seja da mão esquerda, e $^1/_2$ de chance que a luva seja da mão direita.

Sabemos que, ao abrir uma das caixas (no exemplo abaixo, a caixa roxa), **o vetor de probabilidades dessa caixa irá colapsar**, e assumirá um estado definido (no exemplo abaixo, a luva é da mão esquerda).

Porém, ao fazer isso, o observador de posse da caixa roxa irá, imediatamente, **colapsar o vetor de probabilidades da caixa verde**, que assumirá o valor oposto (no exemplo abaixo, da mão direita) **mesmo que a caixa verde nunca tenha sido aberta**. Isso ocorre porque ambas as luvas **estão relacionadas – afinal, foram produzidas em um para**.

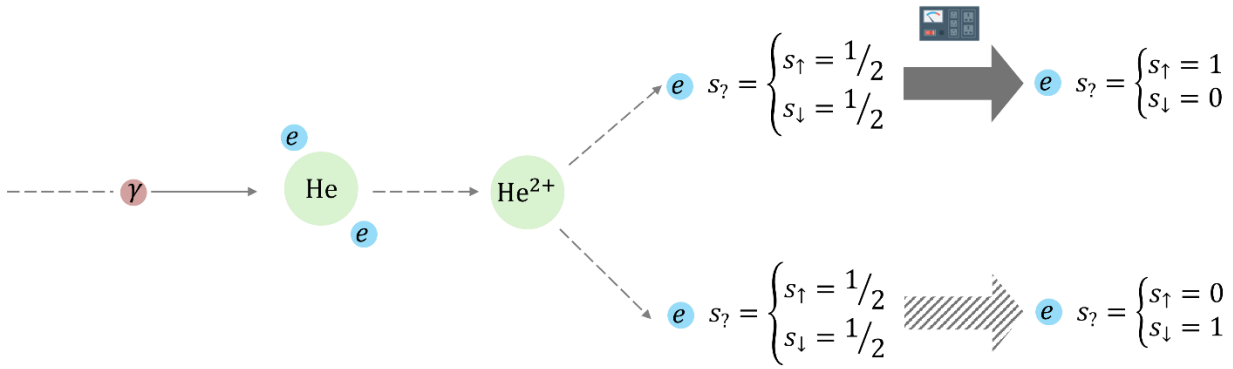
Figura 16: entrelaçamento quântico em exemplo macroscópico.


?
$m_? = \begin{cases} m_E = 1/2 \\ m_D = 1/2 \end{cases}$
$m_? = \begin{cases} m_E = 1 \\ m_D = 0 \end{cases}$
?
$m_? = \begin{cases} m_E = 1/2 \\ m_D = 1/2 \end{cases}$
$m_? = \begin{cases} m_E = 0 \\ m_D = 1 \end{cases}$

Luvas são grandes demais para que o colapso de suas funções de ondas ocorra somente quando um observador consciente abre a caixa, mas **é possível produzir pares de partículas entrelaçadas**.

Por exemplo, considere um átomo de hélio (He) em seu estado base, em que o spin total é 0. Podemos causar a colisão desse átomo com um fóton de alta energia, o que emitirá dois elétrons cuja soma dos spins precisa ser 0 graças à conservação de spin, o que **chamamos de entrelaçamento**. A medição em um elétron permite descobrir o spin de outro.

Figura 17: entrelaçamento quântico em exemplo microscópico.


γ
e
He
e
He^{2+}
e
$s_? = \begin{cases} s_\uparrow = 1/2 \\ s_\downarrow = 1/2 \end{cases}$
e
$s_? = \begin{cases} s_\uparrow = 1 \\ s_\downarrow = 0 \end{cases}$
e
$s_? = \begin{cases} s_\uparrow = 1/2 \\ s_\downarrow = 1/2 \end{cases}$
e
$s_? = \begin{cases} s_\uparrow = 0 \\ s_\downarrow = 1 \end{cases}$

Assim, o entrelaçamento quântico **é substancialmente diferente de realizar edições em uma mesma variável através de seu endereço em locais diferentes**. Em primeiro lugar, porque o colapso da função de onda não implica no mesmo valor de certa grandeza para a outra partícula, **mas no valor oposto**.

Além disso, o resultado do colapso da função de onda **é aleatório** e dependente de probabilidades: **não é possível escolher qual será o resultado da medição** para que a outra partícula tenha o valor oposto.

Inclusive, quando a medição acontece em uma partícula, **nenhum efeito perceptível ocorre na outra partícula**. O entrelaçamento (ou seja, que as medições produzem valores opostos) só é constatado através de comunicação, que **precisa ocorrer por um canal clássico** e, por isso, **está sujeita ao limite da velocidade da luz**.

11. A VELOCIDADE DA LUZ É O *CLOCK* DO PROCESSADOR DE NOSSA SIMULAÇÃO?

Em um computador com circuito síncrono, o sinal de *clock* é o que causa a mudança de um estado para outro. Logicamente, um *clock* maior (em vezes por segundo, ou Hz e seus múltiplos) **implica em mais mudanças de estado por segundo** e, portanto, mais velocidade de processamento.

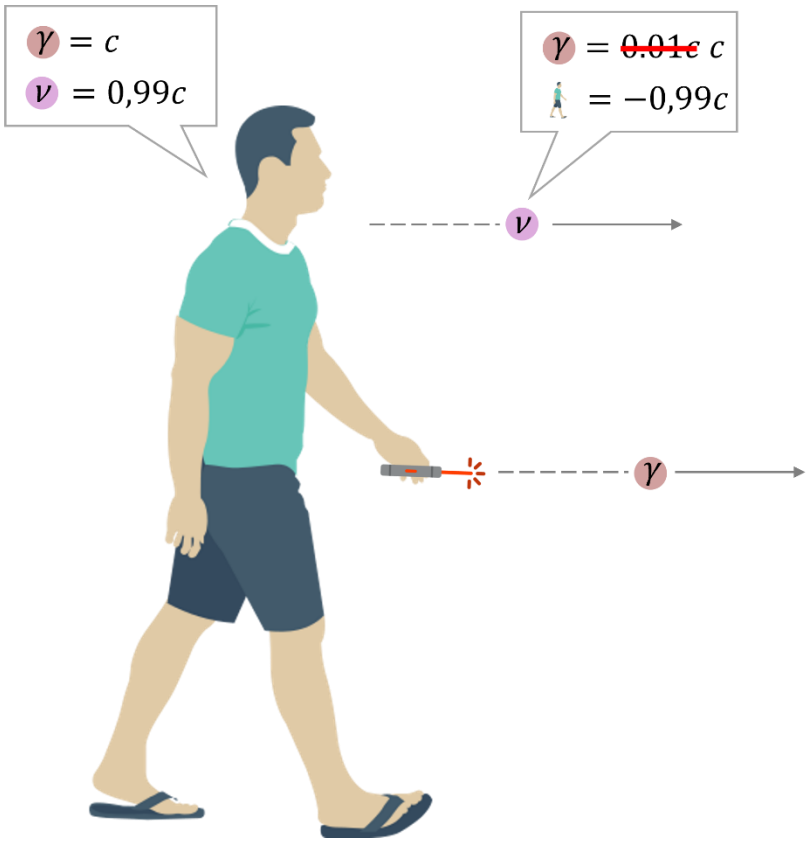
Pessoas afirmaram que a velocidade da luz, definida como $c = 299.792.458\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{s}}$ é o *clock* do processador que roda nossa simulação. No entanto, a existência de um *clock* **implicaria na discretização do tempo**, algo para o qual **não temos evidência até o limite experimental presente**.

Essa confusão provavelmente vem do fato de que, em um computador, nenhum processo pode executar mais instruções por segundo do que o sinal de *clock* do processador e, no universo, **nada pode viajar mais rápido que a luz**.

Ao passo que esse entendimento popular está correto, **a realidade é um pouco mais complexa do que isso**. Considere que você está em uma sala e você dispara um apontador a laser que, como sabemos, produzirá fótons, os quais viajam à velocidade c em seu plano de referência. Ao mesmo tempo, um neutrino atravessa na mesma direção que o fóton, com velocidade $0{,}99c$ no seu plano de referência. Tudo isso **é compatível com a física clássica**.

Já no referencial do neutrino, você moverá a $-0{,}99c$, o que também **é precisamente o esperado de acordo com a física clássica**. Porém, a física clássica prevê que o neutrino deverá perceber o fóton a $(1 - 0{,}99)c = 0{,}01c$, **o que jamais ocorre**: na realidade, o neutrino percebe o fóton a c, da mesma forma que você.

Figura 18: ilustração da situação.



Essa **é a principal constatação da relatividade**, o que leva para uma consequência importante: isso só pode ocorrer se o tempo, que considerarmos ser constante, **sofrer dilatação quando mudamos de referencial**.

Assim, ao passo que a intransponibilidade da velocidade da luz traz constatações importantes sobre a natureza do espaço tempo, **a discretização de uma dessas grandezas não é uma dessas constatações** e, portanto, a conclusão sobre o *clock* de nossa simulação **não possui base**.

12. OBJETOS DISTANTES NUNCA SERÃO ALCANÇADOS PORQUE SÃO UM FUNDO NÃO-EXPLORÁVEL?

Em jogos, é comum que haja um plano de fundo que existe meramente para ilustrar o horizonte além do mapa, mas que **o jogador nunca poderá acessar** e que sequer é simulado como um terreno real, mas **simplesmente como uma imagem sem profundidade**.

Figura 19: o jogo *Far Cry 4* se passa no Himalaia e conta com um horizonte montanhoso, mas não é possível caminhar até essas montanhas.

Partindo da Terra, alguns pontos no universo **podem ser alcançados em teoria**, mas isso leva muito tempo ainda que viajássemos próximos da velocidade da luz, o que, por si só, **depende de grande quantidade de energia**.

Por exemplo, a Galáxia de Andrômeda está a 2,5 milhões de anos luz da Terra, o que significa que, viajando à $0{,}90c$, ou seja, 90% da velocidade da luz, **ainda levaríamos 2,8 milhões de anos para chegar lá**.

Esses lugares são alcançáveis, mas **há regiões do universo literalmente inalcançáveis**. Isso acontece porque, segundo nossas estimativas, **nosso universo está se expandindo**.

Através de uma sequência de cálculos usando constantes derivadas dessas medições, descobrimos que qualquer objeto situado a mais de 16 bilhões de anos luz da Terra **jamais**

será atingido por qualquer fóton emitido aqui e, como fótons viagem à velocidade c, **nenhum outro objeto poderá o atingir** pois nada viaja à velocidade maior do que c.

Mas se nada viaja à velocidade maior do que c, por que uma galáxia distante se afasta de nós a uma velocidade maior do que c?

Isso acontece porque a constatação acima **é uma propriedade da relatividade especial** (ou restrita), que **assume um espaço-tempo plano**. Na relatividade geral, **um espaço-tempo curvo ou em expansão é aceito**, e essa conclusão surge nesse momento.

Parece que introduzimos uma contradição, **mas não introduzimos**: a relatividade especial é um caso particular da relatividade geral, e **se aplica localmente**, uma vez que, em uma região suficientemente pequena, **existe um referencial inercial em que o espaço-tempo é plano**.

A relatividade geral é o caso global, em que, a longas distâncias, **o espaço-tempo é curvo e maleável**, e espaços-tempos planos continuam existindo, mas **apenas de forma local**, exatamente como é na relatividade espacial.

Se quisermos calcular a dilatação do tempo (como fizemos na seção anterior) para uma região grande do espaço, **basta utilizarmos a relatividade geral,** que trará um conjunto de expressões matemáticas mais complexo.

Isso é, inclusive, uma constatação importante para a hipótese da simulação: ao contrário do que Bostrom sugere, **não parece ser possível realizar uma simulação de apenas parte do universo**, já que **a relatividade geral introduz efeitos não-locais**.

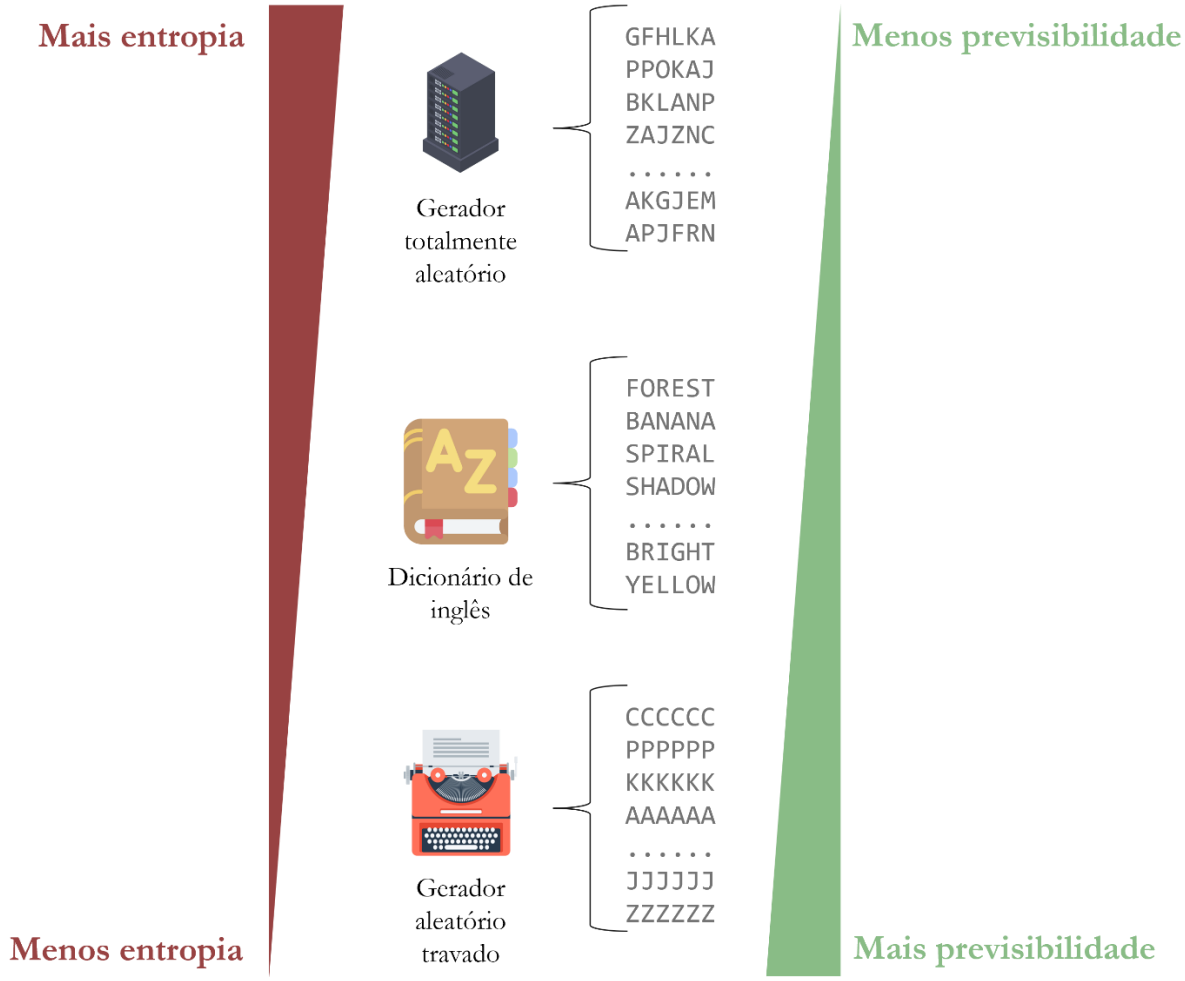
Não conhecemos jogos que tenham simulado um espaço-tempo curvo, mas, em teoria, é possível criar uma região inacessível ao simplesmente movê-la constantemente longe do jogador em uma velocidade maior do que ele poderá atingir. No entanto, **isso é totalmente desnecessário**, e jogos apenas optam por **inserir uma imagem ou um terreno em baixa resolução bloqueado por uma barreira invisível**.

13. A QUANTIDADE DE INFORMAÇÃO ASSOCIADA A EVENTOS DO UNIVERSO É MINIMIZADA?

A medida de entropia de Shannon (ou entropia da informação) nos ajuda a estimar a aleatoriedade **de uma fonte que preenche palavras em um conjunto de posições com um conjunto possível de símbolos**.

Por exemplo, se considerarmos 6 posições e 26 caracteres, fontes diferentes terão entropias diferentes e, em ordem crescente, poderiam ser um gerador de 6 caracteres aleatórios iguais, um dicionário de inglês e um gerador de 6 caracteres aleatórios.

Figura 20: entropia de diferentes fontes.



A entropia pode ser calculada com precisão se soubermos a regra de geração de sequências, ou **de forma numérica com um grande número de sequências**. Suponha que, para esse cálculo, possuímos N palavras em um conjunto $\{n_0, n_1 \dots n_N\}$, cada uma com P caracteres dentro de um conjunto $C = \{c_0, c_1 \dots c_p\}$ de caracteres possíveis.

Primeiro, percorremos todas as palavras e produzimos um vetor S que conta quantas vezes cada caractere do conjunto C apareceu.

$$S = \{s_0, s_1 \dots s_P\}$$
$$s_i = \text{total de aparições de } c_i \text{ em } N$$

Em seguida, criamos um vetor V de probabilidades de cada caractere surgir:

$$V = \{v_0, v_1, \dots v_p\}$$
$$v_i = \frac{s_i}{N}$$

Então, estimamos a entropia H através da fórmula abaixo:

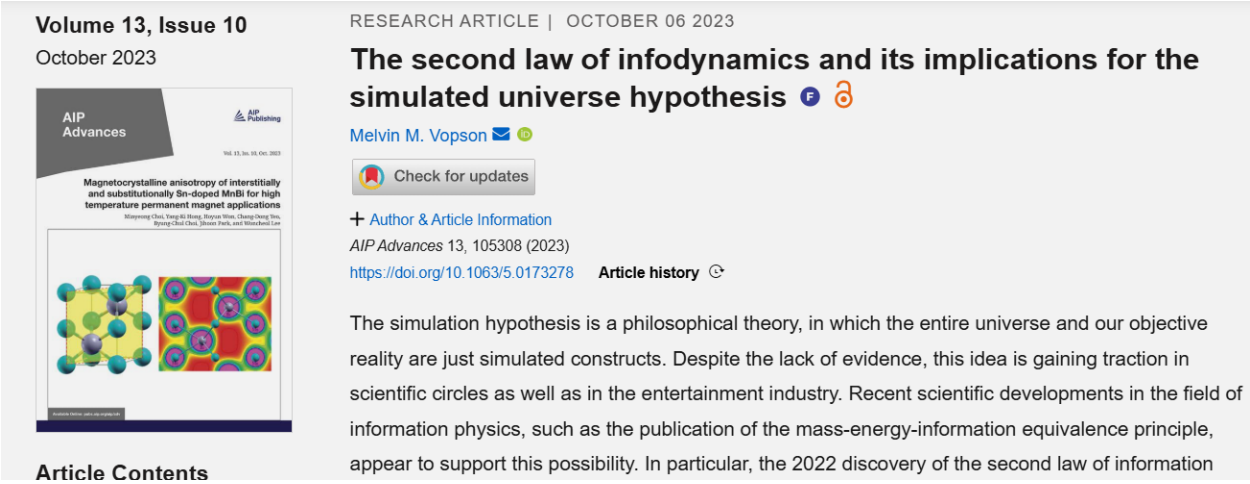
$$H = (N \times P)\left(-\sum_{i=i}^{P} p_i \log_2(p_i)\right)$$

A ordem que apresentamos acima aparecerá naturalmente porque o gerador travado é gerará exatamente 6 caracteres iguais em cada palavra (menor entropia), porque o dicionário respeitará regras de frequência no idioma (entropia média) e porque o gerador aleatório não respeitará qualquer regra de geração (maior entropia).

Computadores frequentemente realizam operações de transferência de dados (por exemplo, o *download* de um arquivo) e **arquivos maiores demandam mais tempo**. Quanto menor a entropia de um arquivo, **mais bem sucedido costuma ser um algoritmo de compactação**, que reduz seu tamanho e, depois, **o recupera na forma original sem perdas**.

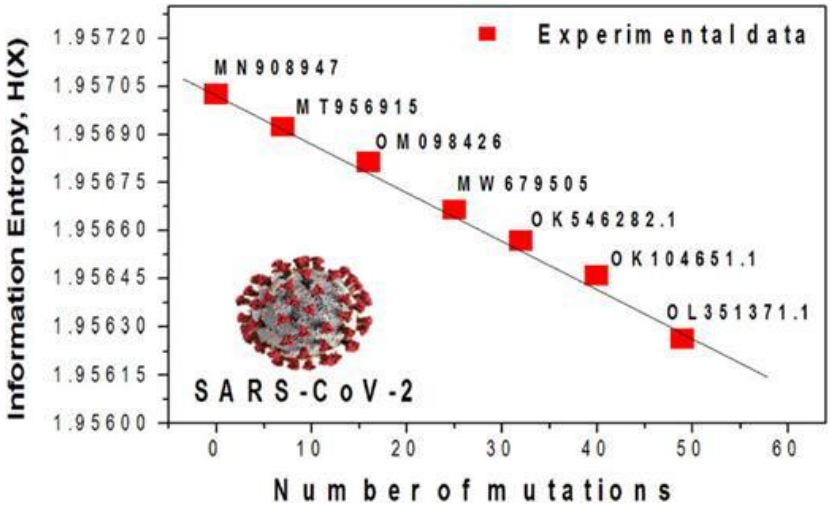
Um artigo de 2023 (https://pubs.aip.org/aip/adv/article/13/10/105308/2915332/The-second-law-of-infodynamics-and-its) estudou como a entropia de informação muda em diversos processos naturais, **criando uma representação de computador para descrever o estado desses processos**.

Figura 21: artigo em questão.


Volume 13, Issue 10
October 2023
AIP Advances
Magnetocrystalline anisotropy of interstitially and substitutionally Sn-doped MnBi for high temperature permanent magnet applications
Article Contents
RESEARCH ARTICLE | OCTOBER 06 2023
The second law of infodynamics and its implications for the simulated universe hypothesis
Melvin M. Vopson
Check for updates
+ Author & Article Information
AIP Advances 13, 105308 (2023)
https://doi.org/10.1063/5.0173278
Article history
The simulation hypothesis is a philosophical theory, in which the entire universe and our objective reality are just simulated constructs. Despite the lack of evidence, this idea is gaining traction in scientific circles as well as in the entertainment industry. Recent scientific developments in the field of information physics, such as the publication of the mass-energy-information equivalence principle, appear to support this possibility. In particular, the 2022 discovery of the second law of information

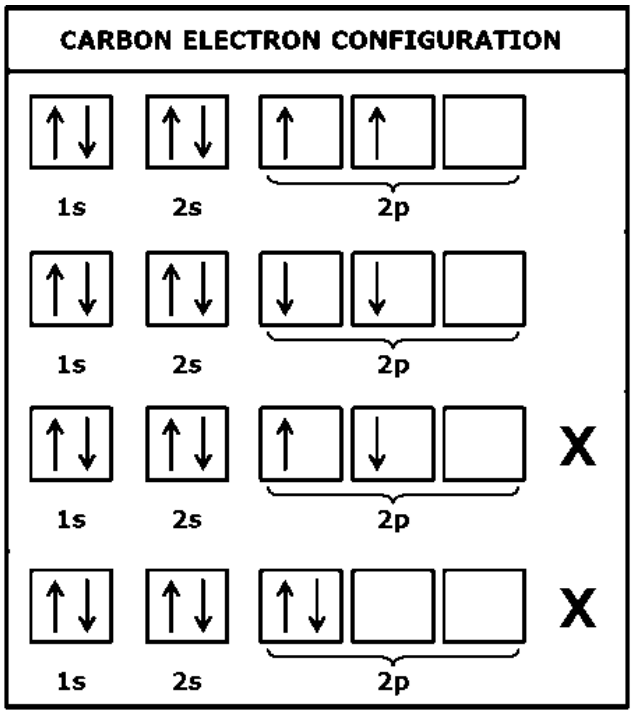
Por exemplo, esse cálculo revelou que a entropia de informação do genoma do *SARS-CoV-2*, o vírus causador da última pandemia, **reduziu conforme o vírus sofreu novas mutações**. Aqui, o genoma foi sequenciado como uma sequência longa com 4 possíveis caracteres (adenina, guanina, citosina e timina).

Figura 22: entropia de informação do genoma do coronavírus.



A regra de Hund define que, quando orbitais atômicos são preenchidos, elétrons assumem primeiro um spin até o preenchimento completo daquele orbital e, só depois, passam a assumir outro spin. Esse arranjo **também minimiza a entropia**.

Figura 23: regra de Hund.



A princípio, esse raciocínio parece nos dizer que a simulação tende preferir (no caso dos átomos) ou gradualmente produzir (no caso de vírus) sequências de informação de tamanho mínimo, o que **os autores chamam de segunda lei da infodinâmica** e concluem que **a entropia de informação do universo tende a reduzir**.

Há dois problemas com isso. O primeiro deles é que dois exemplos (sendo um deles uma suposta tendência em genomas, mas checada para um único genoma) **são insuficientes para formular uma lei** – nada nos garante que **esse padrão sequer existe no resto do universo**.

O segundo é mais grave. Pela segunda lei da termodinâmica (essa sim sustentada em uma demonstração e na ausência de contraexemplos), **a entropia física de um sistema fechado sempre aumentará**. Como o universo é um sistema fechado, **sua entropia física sempre aumentará**.

A definição de entropia física é ligeiramente diferente da definição de entropia de informação, uma vez que a entropia física de um sistema macroscópico **é proporcional ao número de arranjos microscópicos que resultam naquele sistema**. Ainda assim, um sistema com grande entropia física **precisa de mais informação para ser descrito**.

Isso significa, portanto, que **a entropia de informação do universo está aumentando continuamente, e não diminuindo** e que, portanto, a simulação **estaria buscando ineficiência**, e não se otimizando.

O artigo argumenta o oposto: a entropia total do universo, dada pela soma de entropia física e entropia de informação, é constante e, como a entropia física aumenta, e entropia de informação precisa reduzir.

$$E = E_{física} + E_{informação}$$

Ele, então, relembra a forma diferencial da primeira lei da termodinâmica, que nos diz que a variação do calor de um sistema (dQ) é igual à soma da variação da energia total do sistema (dU) com a variação do trabalho feito pelo sistema (dW).

$$dQ = dU + dW$$

Então, partindo da premissa de que o universo é um sistema fechado e há conservação de calor em um sistema fechado, ele conclui que $dQ = 0$. Até agora, **tudo está correto**. Ele, então, relembra a fórmula que associa a variação do calor com a variação da entropia, e a aplica para a expansão do universo:

$$dQ = TdE$$
$$0 = TdE$$

Sabendo que a radiação cósmica de fundo traz como a temperatura um valor não-zero (de $2{,}7\ \mathrm{K}$), ele faz:

$$0 = 2{,}7dE$$

$$dE = 2{,}7 \times 0 = 0$$

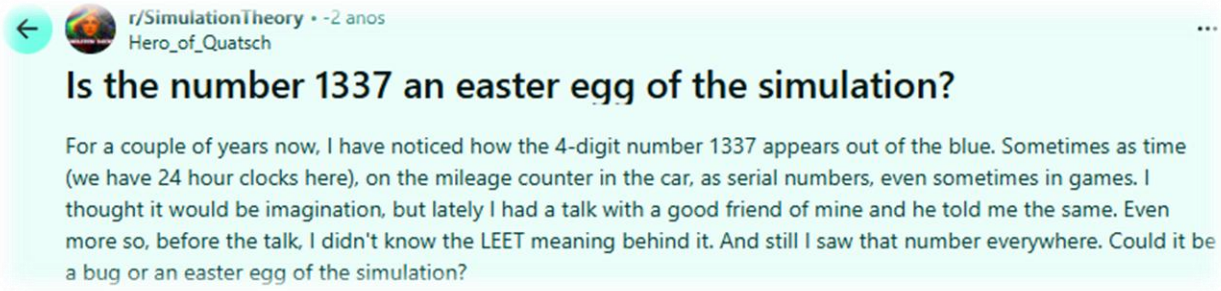
Se dE é igual a 0, então E é constante, e a relação está provada. Isso estaria correto se a expansão do universo fosse um processo reversível, **mas ela é um processo irreversível**, e a fórmula $dQ = TdE$ **não é válida para processos irreversíveis**, o que invalida a demonstração apresentada pelo autor.

14. O NÚMERO 137 É UMA ASSINATURA DE NOSSA SIMULAÇÃO?

Muitas notícias afirmam que o número $^1/_{137}$ **surge em múltiplas teorias cosmológicas**, inclusive em **situações sem relação entre si**. Alguns (https://www.icr.org/article/14181/) usam esse fato para sustentar que o universo foi projetado.

Outros até mesmo (https://www.reddit.com/r/SimulationTheory/comments/19437hs/is_the_number_1337_an_easter_egg_of_the_simulation/) sustentam que essa constante é uma pista de que vivemos em uma simulação.

Figura 24: exemplo de postagem.


r/SimulationTheory • -2 anos
Hero_of_Quatsch
Is the number 1337 an easter egg of the simulation?
For a couple of years now, I have noticed how the 4-digit number 1337 appears out of the blue. Sometimes as time (we have 24 hour clocks here), on the mileage counter in the car, as serial numbers, even sometimes in games. I thought it would be imagination, but lately I had a talk with a good friend of mine and he told me the same. Even more so, before the talk, I didn't know the LEET meaning behind it. And still I saw that number everywhere. Could it be a bug or an easter egg of the simulation?

É fato que esse número **chamou a atenção de grandes físicos do último século**, como Pauli, Dirac e Feynman. Hoje, conhecemos uma constante, **chamada de constante de estrutura fina**, ou simplesmente α, que explica a ocorrência dele.

Em primeiro lugar, caso o número procurado por nós de fato seja $\alpha = {}^1/_{137}$, é esperado que:

$$\alpha^{-1} = \left(\frac{1}{137}\right)^{-1} = 137$$

A medição mais recente da constante de estrutura fina que encontramos, de 2023 (https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.130.071801), nos indica que

essa aproximação não é exata, e que **o inverso de α não é 137**. Mais especificamente, sabemos que:

$$\alpha \approx 0{,}0072973525649$$
$$\alpha^{-1} \approx 137{,}035999166$$

Assim, a constante que procuramos pode ser aproximada não como $\alpha = {}^{1}/_{137}$, mas mais adequadamente como:

$$\alpha = {}^{1}/_{137{,}035999166}$$

E isso é, sem dúvidas, **muito menos intrigante ou místico do que um número inteiro parte dessa aproximação**. Vale lembrar que não há indícios de que isso se deva a um mero erro experimental, já que a constante **mantém $\mathbf{137,03}$ desde que foi medida em 1969**, e mantém $\mathbf{137,035}$ **desde a medição em 1987**.

Esse valor é utilizado **para quantificar a força da interação eletromagnética entre partículas elementares carregadas**, e a sua existência não é exatamente especial porque nosso entendimento do universo **é repleto de outras constantes que, assim como essa, não envolvem números inteiros**, como a velocidade da luz (c), a constante de Planck (h) ou a constante de gravitação universal (G)

Um argumento em favor de α ser especial estaria no fato dela ser adimensional – ou seja, não depende do sistema de medida. De fato, ela é adimensional porque **é obtida pela divisão entre duas grandezas medidas em unidade de carga ao quadrado**.

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 hc}$$

Para isso, podemos realizar análise dimensional na carga do elétron (e), na permissividade do vácuo (ε_0), na constante de Planck (h) e na velocidade da luz (c), ao passo que números são adimensionais. Então, temos:

$$e^2 = [\mathrm{C}]^2$$

$$4\pi = [1]$$

$$\varepsilon_0 = \frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{N}][\mathrm{m}]^2}$$

$$h = [\mathrm{N}][\mathrm{m}][\mathrm{s}]$$

$$c = \frac{[\mathrm{m}]}{[\mathrm{s}]}$$

Por fim, teremos:

$$\alpha = \frac{[\mathrm{C}]^2}{[1] \times \frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{N}][\mathrm{m}]^2} \times [\mathrm{N}][\mathrm{m}][\mathrm{s}] \times \frac{[\mathrm{m}]}{[\mathrm{s}]}}$$

$$\alpha = \frac{[\mathrm{C}]^2}{\frac{[\mathrm{C}]^2[\mathrm{N}][\mathrm{m}]^2[\mathrm{s}]}{[\mathrm{N}][\mathrm{m}]^2[\mathrm{s}]}} = \frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{C}]^2} = [1]$$

Assim, ao passo que α é adimensional, **é possível obter infinitas constantes adimensionais ao dividir duas grandezas da mesma unidade**.

15. A SIMETRIA É UMA ASSINATURA DA NOSSA SIMULAÇÃO?

Nessa seção e nas próximas, discutiremos uma série de padrões macroscópicos observados na natureza que são interpretados como uma assinatura deixada pelos criadores da simulação.

A falácia da única causa é descrita pelo uso de um fato (nesse caso, a presença de padrões) como premissa para uma conclusão (nesse caso, a existência de uma simulação) porque **a conclusão só pode ser causada pelo fato constatado**, ao mesmo tempo em que **outras possíveis causas são ignoradas**.

Conseguimos provar que a falácia ocorre **quando constatamos a existência de ao menos mais uma causa**. Nesse caso, a causa que tentaremos provar a existência **é a emergência a partir de fenômenos naturais conhecidos**.

Uma delas é a simetria, e, em animais, costuma surgir de forma **bilateral em animais móveis**, e **radial em animais sésseis ou muito lentos**.

Figura 25: simetria em animais.

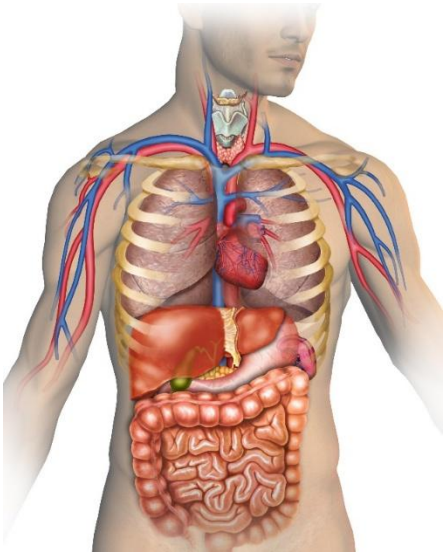
Em um animal lento, especialmente marinho, **a comida tende a chegar até a criatura ao invés do oposto**. Nessa situação, a presença de órgãos para recepção de comida no maior número de extremidades **é uma vantagem evolutiva**.

Em um animal móvel, a tendência **é que a criatura procure comida** e, para isso, se mova. Já movimento **segue uma direção no espaço tridimensional**, o que requer

estabilidade, e estabilidade **funciona bem quando a criatura tem a mesma quantidade de membros em ambos os lados** sendo, inclusive, a **solução de menor custo**.

Além disso, a simetria bilateral **se quebra a nível interno**, já que muitos órgãos **não seguem esse padrão**, indicando que ela é, de fato, provável consequência da interação das criaturas com o ambiente.

Figura 26: a anatomia humana interna não é simétrica.



16. FRACTAIS SÃO ASSINATURAS DA NOSSA SIMULAÇÃO?

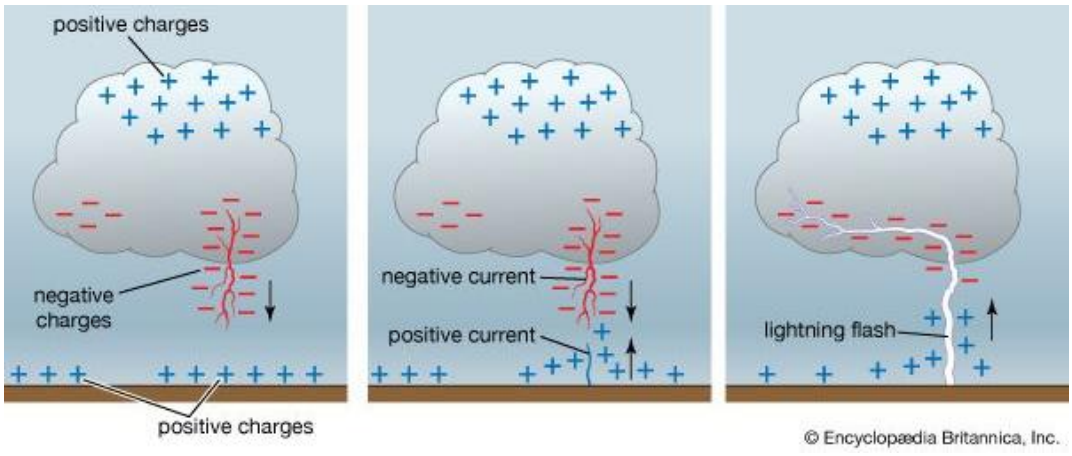
Fractais são padrões que **se repetem em forma em várias escalas**, de forma que uma parte pequena de um objeto fractal se parecerá com o objeto inteiro se for ampliada. Múltiplas estruturas naturais, **algumas sem qualquer relação aparente com as demais, apresentam formas fracta**is. Para que um fractal ocorra em um processo natural, é necessário que 4 condições sejam satisfeitas:

I. Uma mesma regra dita como um evento ocorre em múltiplas escalas;
II. Eventos são locais;
III. Eventos geram novos eventos da mesma natureza e em menor escala;
IV. Eventos ocorrem preferencialmente em regiões de máximo ou mínimo.

Começaremos nossa discussão por estruturas puramente físicas, como raios. Nuvens na atmosfera sofrem atrito ao se moverem e, com isso, **acumulam cargas elétricas**. Quando essa carga se torna muito alta, ela **tende a escoar para o solo, que consegue neutralizar qualquer diferença de cargas fornecendo cargas de sinal oposto.**

Porém, entre a nuvem e o solo há grande quantidade de ar, e ar **é um material tipicamente isolante**, que resiste bem à passagem de cargas elétricas. Ainda assim, conforme a carga se torna maior, átomos no ar sofrem ionização, **produzindo núcleos positivos e elétrons livres**.

Figura 27:formação de um raio.



O processo de ionização requer energia e, como o campo elétrico em meio a uma tempestade não é constante, **a ionização ocorre nas regiões em que a energia necessária para ela ocorrer é menor**.

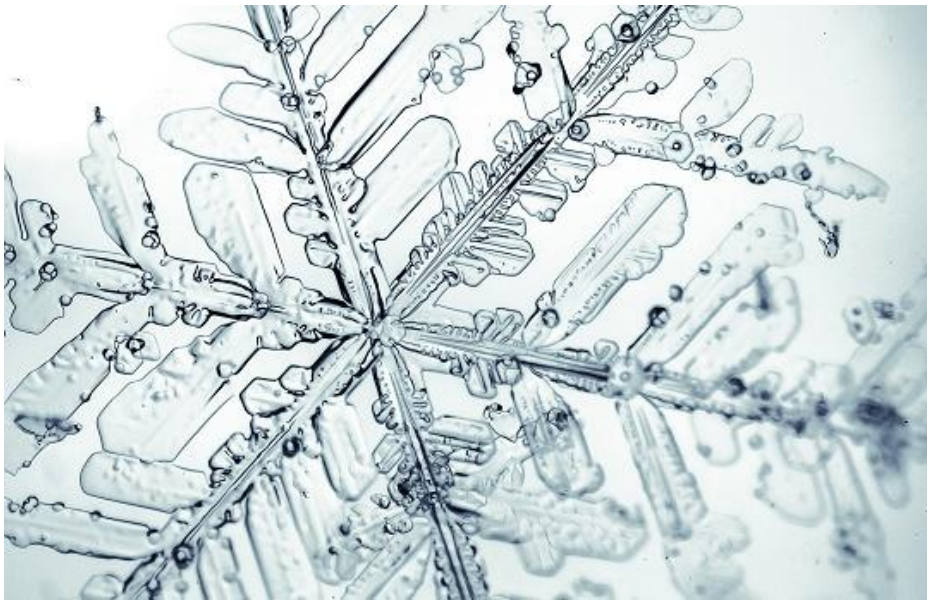
Quando mais de uma região pode satisfazer essa condição, o raio irá quebrar e, como vale o princípio da conservação de energia, **os ramos gerados serão menores**. Evidentemente, o mesmo processo irá continuar nos ramos gerados, dando origem ao fractal.

Figura 28: raio.

Já cristais de gelo, outro fenômeno puramente físico que exibe fractais, se formam conforme moléculas de água dispersas pelo ar se afixam à uma superfície sólida em formação. Porém, uma superfície plana tem menos capacidade de aderência, ao passo que **a máxima capacidade de aderência surge em uma ponta de uma superfície rugosa**.

Assim, quando uma pequena protuberância se forma na superfície plana, **ela se torna uma nova região em menor escala na qual, na sua ponta, há também um máximo de aderência**. Nesse máximo, uma nova ponta se formará, e **o processo se repetirá**. Além disso, o gelo **tem uma estrutura molecular hexagonal**, o que provoca preferência em ângulos específicos.

Figura 29: cristal de gelo.



Um sistema físico apresenta fractais **como propriedade decorrente das regras que ditam sua formação**, mas um sistema biológico foi, ao longo de milhões de anos, **selecionado para exibir comportamento fractal caso isso seja vantajoso**.

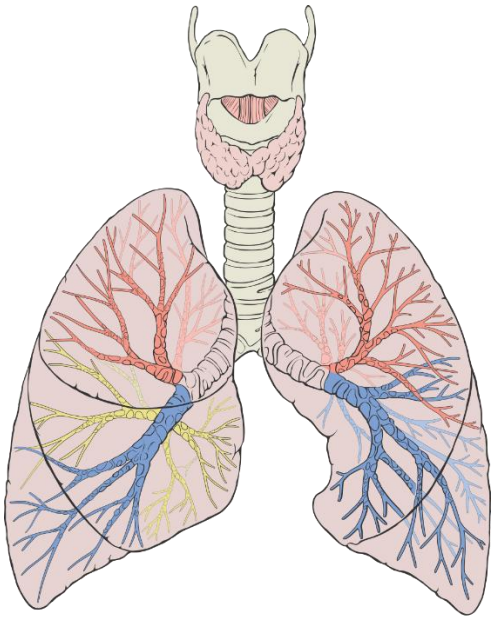
Essa vantagem é facilmente perceptível quando consideramos o que conduziu a seleção de cada sistema. Para folhas, esse critério **é a maximização da superfície** e **a distribuição mais eficiente de seiva**.

O mesmo se aplica para uma árvore por inteiro, em que o critério **se torna a maximização de uma superfície de um volume** e continua sendo **a distribuição mais eficiente da seiva**.

Figura 30: folhas e árvore.

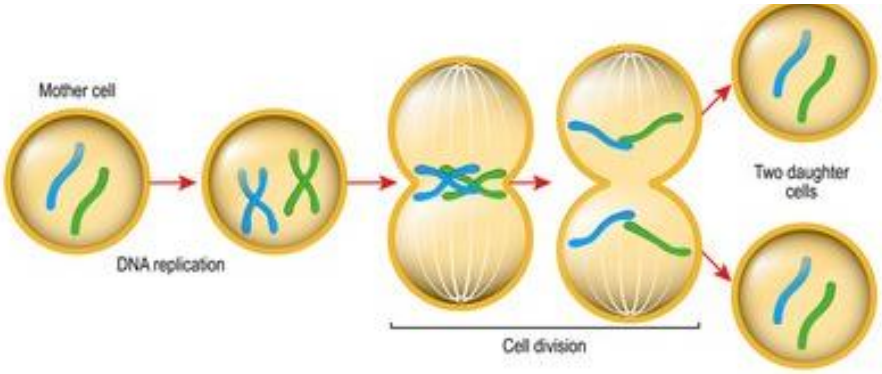
A posição de brônquios no pulmão segue um princípio parecido, em que o fator de seleção **é a maximização da distribuição do ar que entra pela traqueia para um conjunto de alvéolos distribuídos em um volume**.

Figura 31: anatomia do pulmão humano.



Todos esses sistemas **se formam através da mitose**, um processo de divisão celular em que uma célula **dá origem a outras duas**, que então podem sofrer novas divisões celulares. A regulação da divisão, através do DNA, **determina em quais circunstâncias ela irá ocorrer** e, em organismos fractais, **foi selecionada dessa forma ao longo de milhões de anos**.

Figura 32: mitose.



17. A TESSELAÇÃO É UMA ASSINATURA DA NOSSA SIMULAÇÃO?

A tesselação ocorre **quando uma superfície é coberta em unidades iguais**, tais como ladrilhos, e é observada em muitos padrões naturais. Em sistemas puramente físicos, ela é vista em alguns cristais, como de halita ou bismuto.

Figura 33: cristais de bismuto.

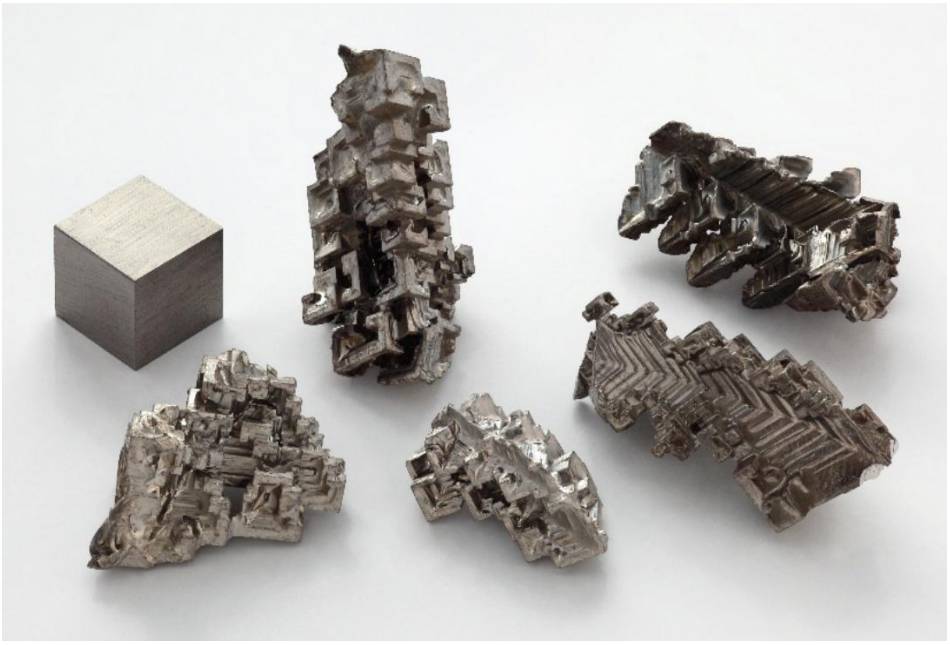


Figura 34: cristais de halita.

Esses cristais se formam assim porque, durante o processo de cristalização, as regiões mais favoráveis para anexação de novos átomos **são as bordas do cristal**, e não as superfícies planas. Assim, há mais acúmulo em uma borda, **que irá crescer**, e então **dará origem a uma nova borda**, onde isso se repetirá.

Sistemas biológicos também podem exibir tesselação, algo que **o processo de mitose pode causar** desde que ocorra nos lugares corretos. Mais uma vez, lagartos foram selecionados, ao longo de milhões de anos, **para possuir uma pele que minimize perda de calor** (já que répteis têm sangue frio), que **seja resistente** e **também flexível**.

Em répteis, a formação de escamas se dá a partir de **pequenos conjuntos espaçados de células** sobre a derme, que então **começarão a crescer ao mesmo tempo em uma mesma velocidade**, formando ladrilhos.

Figura 35: escamas em réptil.

18. ESPIRAIS SÃO ASSINATURAS DA SIMULAÇÃO?

Espirais são curvas que se originam em um ponto, e se movem ao redor desse ponto, se distanciando dele continuamente. **Espirais aparecem em múltiplos seres vivos**, como samambaias, suculentas e moluscos.

Figura 36: espirais na natureza.

Os elementos que trazem espirais são elementos cujo fator a ser otimizado por seleção natural costuma envolver uma de duas opções: **a captação de recursos ou a proteção**. Ambas se resumem em **maximização de superfície de contato**, permitindo **captação de mais recursos ou mais espaço para órgãos frágeis**.

A forma que esses sistemas adotaram após seleção natural foi:

I. Novos focos de crescimento surgem no centro e na ponta;
II. O crescimento ocorre o mais distante possível dos focos que já existem;

Isso, em um sistema, **produzirá uma espiral como característica emergente que segue um ângulo constante**. Uma mera espiral, porém, ainda não é a sequência de Fibonacci.

19. A PROPORÇÃO ÁUREA É UMA ASSINATURA DA SIMULAÇÃO?

Considere uma sequência F tal que:

$$F_0 = 0$$
$$F_1 = 1$$

E tal que qualquer outro membro F_n para $n > 1$ é definido como:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$$

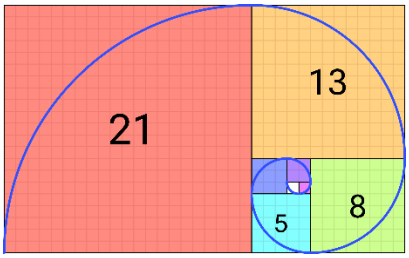
Temos, então, a seguinte sequência, chamada de sequência de Fibonacci:

Tabela 1: dez primeiros números da sequência de Fibonacci.

n	F_n
0	0
1	1
2	1
3	2
4	3
5	5
6	8
7	13
8	21
9	34
10	55

A sequência pode ser representada graficamente através de um arranjo de quadrados que **sempre forma um retângulo maior**, e acima do qual uma espiral pode ser desenhada.

Figura 37: sequência de Fibonacci vista graficamente.



Definimos, também, o número φ como:

$$\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1{,}618033988$$

Por um fato matemático **possível de ser provado** (apesar de demandar uma prova extensa) e **não por coincidência**, quanto maior for o valor de n, mais próxima a razão entre dois termos consecutivos da sequência de Fibonacci (com o maior no numerador) será de φ. Em outras palavras, pode-se dizer que:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{F_{n+1}}{F_n} = \varphi$$

O valor φ é chamado de número áureo, e uma sequência que segue a propriedade acima é dita estar na proporção áurea. Essa proporção produz imagens agradáveis aos olhos, o que explica porque ela é vista na arte, na arquitetura e em bandeiras.

Curiosamente, muitos sistemas na natureza **trazem uma quantidade de corpos menores que quase sempre é um número da sequência de Fibonacci**, além de, em alguns casos (mas não todos) **seguirem um padrão espiral** pelas razões já verificadas.

Figura 38: aqui, o total de folhas ou gomos é um número da sequência de Fibonacci.

Nesses sistemas, novos corpos surgem próximo do centro e crescem em um ângulo constante, e corpos antigos **podem ser mantidos** (gerando espirais) **ou morrerem** (tornando as espirais menos reconhecíveis).

O ângulo geralmente utilizado é de aproximadamente $137{,}5°$, que foi selecionado porque **é o ângulo que maximiza o espaço de crescimento**. Ao usar esse ângulo, na prática, estamos tomando uma fração de curva f, que pode ser calculada com:

$$137{,}5 = 360 \times \left(1 - \frac{1}{f}\right)$$

$$137{,}5 = 360 - \frac{360}{f}$$

$$137{,}5 - 360 = -\frac{360}{f}$$

$$-222{,}5 = -\frac{360}{f}$$

$$f = \frac{360}{222{,}5} \approx 1{,}6179752809$$

É prudente lembrar que $\varphi \approx 1{,}6180 \approx f$, ou seja, a fração de curva tomada com esse ângulo (que é o ângulo que maximiza a área livre disponível) é o número φ. Assim, ao realizar um certo número de voltas k (que é inteiro) criaremos um total de gomos G que também precisa ser inteiro.

Porém, como φ é a razão da sequência de Fibonacci, a função abaixo **devolverá alguns inteiros que são ótimas aproximações de números nessa sequência**.

$$g = k \times \frac{1}{\varphi} \approx k \times 0{,}6180$$

Podemos ver isso na tabela abaixo.

Tabela 2: aproximações obtidas.

k	g	$g \to G$
0	0,00	
1	0,61	
2	1,23	
3	1,85	
4	2,47	

5	3,09	3
6	3,70	
7	4,32	
8	4,94	5
9	5,62	
10	6,18	
11	6,79	
12	7,41	
13	8,03	8

Isso parece uma assinatura, mas é importante lembrar que **a sequência de Fibonacci é uma aproximação de um ângulo que representa uma grandeza otimizada por seleção natural.**

O fato dessa aproximação existir parece uma grande coincidência, mas é importante lembrar que a atribuição de um nome a uma sequência **é uma invenção humana** e que, da mesma forma que a sequência de Fibonacci foi proposta, humanos **conseguem propor outras sequências que aproximem qualquer número**.

20.O EFEITO MANDELA É CAUSADO POR MUDANÇAS DE PARÂMETROS NA SIMULAÇÃO?

Em um jogo, certos dados são frequentemente armazenados. Quando o programador muda componentes que dependem desses dados, é possível que o jogador experimente incongruências e comportamentos inesperados.

O efeito Mandela é o nome dado a um fenômeno em que uma pessoa **se lembra de detalhes sobre eventos que ocorreram de forma diferente**, ou que **sequer ocorreram**.